

発電装置、それを用いた電子機器、電子制御式時計および発電装置における磁気回路の板厚設定方法

5

#### 技術分野

本発明は、発電装置、それを用いた電子機器、電子制御式時計および発電装置における磁気回路の板厚設定方法に関する。さらに詳しくは、発電装置における鉄損を減少して高効率化を図る技術に関するものである。

10

#### 背景技術

時計や携帯電話機、携帯型情報機器等の小型、携帯型の電子機器は、通常電池から供給される電力で駆動されるが、近年、回転錘やゼンマイでロータを回転させて発電する発電装置を組み込むことで、電池交換を不要にするとともに取扱い性や環境に配慮した電子機器が知られている。

15

このような携帯型の電子機器では、近年、様々な機能が組み込まれることもあり、発電量の増加が求められている。この際、発電装置を大型化して発電量を増加させることは、電子機器の携帯性を低下させるため採用できない。

このため、発電装置を高効率化（発電量増加）するには、発電装置の磁気回路の鉄損（ヒステリシス損、渦電流損）を低減することが求められている。

20

本発明の目的は、発電装置の磁気回路の鉄損を低減できて発電装置を高効率化できる発電装置、およびこの発電装置を備えた電子機器、電子制御式時計、さらには発電装置における磁気回路の板厚設定方法を提供することにある。

#### 25 発明の開示

本発明の発電装置は、永久磁石を有するロータと、磁気回路を構成する軟磁性材料からなるステータおよび磁心と、前記磁心に捲回されたコイルとを備えた発電装置において、前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料の板厚  $d$  (m) は、その軟磁性材料のヒステリシス損係数を  $k_h$ 、渦

損係数を  $k_e$ 、抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、次の式(1)で求められる厚さに設定されていることを特徴とする。

$$d = \sqrt{\frac{k_h}{k_e} \rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (1)$$

5

ここで、式(1)の原理について説明する。なお、以下の説明は、P C パーマロイ材を例にとったものであり、他の材料の場合には係数等が一部異なるが、原理およびこれに基づく式としては材料に拘らず同じである。

10 発電装置の鉄損  $W$  は、ヒステリシス損  $W_h$  と渦電流損  $W_e$  とを加算したものである。ここで、ヒステリシス損  $W_h$  および渦電流損  $W_e$  は以下のように求めることができる。

(A) ヒステリシス損  $W_h$

単位体積当たりの 1 サイクルのヒステリシス損については Steinmetz が電磁鋼板において実験的に次式を導いている。

$$15 \quad W_h \cong k_h B_m^\eta$$

ここで、 $W_h$  : ヒステリシス損 ( $J/m^3$ )、 $k_h$  : 比例定数、 $B_m$  : 最大振幅磁束密度 (T)、 $\eta$  : 比例定数である。

さらに材料の結晶粒の大きさと直流保磁力とがほぼ反比例の関係あることは一般に良く知られていることであり、このことはヒステリシス損が板厚に反  
20 比例することを示している。この事実を考慮すると次式が得られ、これをヒステリシス損として定義できる。

$$W_h \cong k_h d^{-1} B_m^\eta$$

ここで、 $k_h$  : 比例定数 (ヒステリシス損係数)、 $d$  : 板厚 (m) である。

(B) 渦電流損

25 ここでは異常渦電流損係数の概念に基づいて鉄損を定式化する。異常渦電流

損係数を用いて渦電流損を表現すると次式のようになる。

$$W_e = k_{se} \frac{1}{6\rho} \pi^2 f d^2 B_m^2$$

- すなわち、古典理論による渦電流損式に、実験により求める異常渦電流損係数  $k_{se}$  を掛けた形となる。ここで、 $k_{se}$  : 異常渦電流損係数、 $W_e$  : 渦電流損 ( $J/m^3$ )、 $\rho$  : 抵抗率 ( $\Omega \cdot m$ )、 $f$  : 周波数 (Hz)、 $d$  : 板厚 (m)、 $B_m$  : 最大振幅磁束密度 (T) である。

(C) 比例定数の算出

- 板厚と最大振幅磁束密度を振って直流磁気特性を測定してヒステリシス損を計算し、それらの結果から先の  $W_h$  の式の  $k_h$  と  $\eta$  を近似的に求めると次式に示すようになる。

$$W_h \cong 1.72 \times 10^{-3} d^{-1} B_m^{1.65}$$

また、板厚と最大振幅磁束密度、周波数を振って交流磁気特性を測定し、それらの結果から先の  $W_e$  の式の  $k_{se}$  を近似的に求めると次式に示すようになる。

$$\begin{aligned} W_e &= k_{se} \frac{1}{6\rho} \pi^2 f d^2 B_m^2 \\ &\cong \left( 1.6 \times 10^{-3} d^{-1} f^{-0.25} \right) \left( \frac{\pi^2 d^2 f B_m^2}{6\rho} \right) \\ &= 2.63 \times 10^{-3} \frac{1}{\rho} d f^{0.75} B_m^2 \end{aligned}$$

- この  $W_e$  の式および先の  $W_h$  の式において、ヒステリシス損係数  $k_h = 1.72 \times 10^{-3}$ 、渦損係数  $k_e = 2.63 \times 10^{-3}$  とすると、鉄損  $W = W_h + W_e$  は次式(6)で表される。

$$W \cong k_h d^{-1} B_m^{1.65} + k_e \frac{1}{\rho} d f^{0.75} B_m^2 \quad (6)$$

- ここで、 $W_h$  : ヒステリシス損 ( $J/m^3$ )、 $W_e$  : 渦電流損 ( $J/m^3$ )、 $k_h$  : ヒステリシス損係数、 $d$  : 板厚 (m)、 $B_m$  : 最大振幅磁束密度 (T)、 $k_e$  : 渦損係数、 $\rho$  : 抵抗率 ( $\Omega \cdot m$ )、 $f$  : 周波数 (Hz) である。

この式(6)により鉄損  $W$  を最小にする板厚  $d$  が求まることになり、 $d$  を与える式として整理すると前述した式(1)となる。

このような本発明においては、パーマロイ等の軟磁性材料で構成されるステータや磁心（コア）の材質によって決められるヒステリシス損係数 $k_h$ 、渦損係数 $k_e$ 、抵抗率 $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )や、発電装置の設計で設定される周波数 $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度 $B_m$  (T)を、前述した式(1)に代入することで、鉄損 $W$ を最小にする板厚 $d$ を算出することができる。

このため、この板厚 $d$ でステータや磁心を設計すれば、発電装置の鉄損を減少でき、発電装置の高効率化（発電量増加）を達成できる。

また、ヒステリシス損係数 $k_h$ や渦損係数 $k_e$ は、予め実験により求めておく必要があるが、発電装置に用いられるパーマロイ材の種類は通常4種類程度（スーパーマロイ (Supermalloy)、PCパーマロイ、PDパーマロイ、PBパーマロイ等）であり、各種類毎にヒステリシス損係数 $k_h$ や渦損係数 $k_e$ を予め求めておくことができる。

従って、発電装置を設計する際には、選択した軟磁性材料によって決まるヒステリシス損係数 $k_h$ 、渦損係数 $k_e$ 、抵抗率 $\rho$ や、要求される性能によって設計時に設定される最大振幅磁束密度 $B_m$ 、周波数 $f$ を前記式(1)に代入することで、鉄損 $W$ を最小にできる最適な板厚 $d$ を容易に求めることができ、高効率の発電装置を容易に設計、製造することができる。

そして、これにより、発電装置の発電量の増加や、発電装置の小型化を実現でき、この発電装置が組み込まれる各種の電子機器や電子制御式時計において、多機能化や小型、軽量化を実現できる。

本発明において、前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料はPCパーマロイ材であり、このPCパーマロイ材の板厚 $d$  (m)は、PCパーマロイ材の抵抗率を $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を $B_m$  (T)とした場合、次式で求められる厚さに設定されていることが好ましい。

$$d = \sqrt{0.654\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (2)$$

このような構成によれば、特に発電装置のステータとして利用されることが

多いP Cパーマロイ材が用いられた際に、一層容易に最適な板厚  $d$  を求めることができる。

同様に、スーパーマロイ材の場合は次式となる。

$$d = \sqrt{0.137\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (3)$$

5 同様に、PDパーマロイ材の場合は次式となる。

$$d = \sqrt{1.339\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (4)$$

同様に、PBパーマロイ材の場合は次式となる。

$$d = \sqrt{3.049\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (5)$$

10 各々の構成によれば、特に発電装置のステータや磁心として利用されることが多いスーパーマロイ材、磁心として利用されることが多いPDパーマロイ材およびPBパーマロイ材に対して、一層容易に最適な板厚  $d$  を求めることができる。

15 本発明の発電装置は、永久磁石を有するロータと、磁気回路を構成する軟磁性材料からなるステータおよび磁心と、前記磁心に捲回されたコイルとを備えた発電装置において、前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料の板厚  $d$  (m) は、その軟磁性材料のヒステリシス損係数を  $k_h$ 、渦損係数を  $k_e$ 、抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、次の式(1)で求められる厚さ  $d$  を、式(6)に代入して鉄損  $W$  ( $J/m^3$ ) の最小値  $W_1$  を求め、この最小値  $W_1$  よりも大きな基準値  $W_2$  を設定し、  
20 前記式(6)と鉄損基準値  $W_2$  とから、鉄損が基準値  $W_2$  以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに設定されていることを特徴とする。

$$d = \sqrt{\frac{k_h}{k_e} \rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (1)$$

$$W \cong k_h d^{-1} B_m^{1.65} + k_e \frac{1}{\rho} d f^{0.75} B_m^2 \quad (6)$$

このような本発明によれば、加工上や強度上等の制約で板厚  $d$  を鉄損が最小値  $W_1$  となる厚さに設定できない場合であっても、鉄損  $W$  が所定の基準値  $W_2$ 、例えば鉄損最小値  $W_1$  の所定倍の値や、鉄損最小値  $W_1$  に所定の定数を加えた値など（材質や利用状況等で異なる）で設定された基準値  $W_2$  以下となるように、板厚範囲を設定することができる。従って、鉄損以外の他の条件（強度等）を満足しつつ、鉄損が小さな高効率の発電装置を設計、製造することができる。

10      このような基準値  $W_2$  としては、鉄損の最小値  $W_1$  の所定倍の値として設定することができる。この値は、軟磁性材料の種類や用途等に応じて最適な値が異なることがあり、実験あるいは経験則等に基づいて適切な設定を採用することが望ましい。

15      例えば、本発明の発電装置を利用する機器が、運動エネルギーを定常的に供給できるゼンマイ等を発電用の駆動源としている場合と、外力で回転する回転錘を駆動源としている場合とでは、その設定も変えることが望ましい。すなわち、電子制御式の腕時計や過搬式の小型電子機器では、発電装置の駆動源として外力で回転する回転錘を用いるものがある。これらの機器では、例えば腕時計であれば装着者の歩行等に伴う運動、自動車等に設置された機器であれば走行に伴う振動により、回転錘を回転させ、この回転運動を駆動エネルギーとして利用するものがある。このような回転錘の駆動は瞬発的に大きくなる等、一般的なモータあるいはゼンマイ等の定常的な駆動力を発生する駆動源とは利用条件が大きく異なる。

25      用途等が同じであっても、基準値  $W_2$  は軟磁性材料の材質（PCパーマロイ、スーパーマロイ、PDパーマロイ等）によって異なる。

例えば、前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料としてPCパーマロイを用いる場合、このPCパーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、

PCパーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) として、次の式(2)で求められる厚さ  $d$  を、式(7)に代入して鉄損  $W$  ( $J/m^3$ ) の最小値  $W_1$  を求め、この最小値  $W_1$  の1.088倍となる基準値  $W_2$  を設定し、前記式(7)と鉄損基準値  $W_2$  とから、鉄損が基準値  $W_2$  以下となる板厚範囲を求め、

- 5 この範囲内の厚さに設定されていることが好ましい。

$$d = \sqrt{0.654\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (2)$$

$$W \cong 1.72 \times 10^{-3} d^{-1} B_m^{1.65} + 2.63 \times 10^{-3} \frac{1}{\rho} d f^{0.75} B_m^2 \quad (7)$$

このような構成によれば、発電装置のステータとして利用されることが多いPCパーマロイ材の場合に、適切な板厚範囲を簡単に求めることができる。

- 10 なお、発電装置が外力で回転する回転錘を用いる場合において、軟磁性材料としてPCパーマロイを用いる場合には、最小値  $W_1$  の1.760倍となる基準値  $W_2$  を設定することが望ましい。

- 同様に、軟磁性材料としてスーパーマロイを用いる場合、次の式(3)および式  
15 (8)を用い、最小値  $W_1$  の2.355倍となる基準値  $W_2$  を設定することが望ましい。

$$d = \sqrt{0.137\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (3)$$

$$W \cong 0.36 \times 10^{-3} d^{-1} B_m^{1.65} + 2.63 \times 10^{-3} \frac{1}{\rho} d f^{0.75} B_m^2 \quad (8)$$

このような構成によれば、発電装置のステータとして利用されることが多いスーパーマロイ材の場合に、適切な板厚範囲を簡単に求めることができる。

- 20 なお、発電装置が外力で回転する回転錘を用いる場合において、軟磁性材料としてスーパーマロイを用いる場合には、最小値  $W_1$  の3.634倍となる基準値  $W_2$  を設定することが望ましい。

- 同様に、軟磁性材料としてPDパーマロイを用いる場合、次の式(4)および式  
25 (9)を用い、最小値  $W_1$  の2.729倍となる基準値  $W_2$  を設定することが望ましい。

$$d = \sqrt{1.339\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (4)$$

$$W \cong 23.58 \times 10^{-3} d^{-1} B_m^{1.65} + 2.63 \times 10^{-3} \frac{1}{\rho} df^{0.75} B_m^2 \quad (9)$$

このような構成によれば、発電装置の磁心として利用されることが多いP D パーマロイ材の場合に、適切な板厚範囲を簡単に求めることができる。

5

ここで、前記ステータおよび磁心の少なくとも一方は、前記板厚  $d$  に設定された軟磁性材料を単層あるいは積層して構成されていることが好ましい。

このように構成すれば、各板を鉄損が小さくなるような板厚に設定でき、かつ適宜枚数積層することで、必要な磁束数や強度等を確保することができる。

- 10 積層構造を採用する場合、全体厚みが同じでも積層数が増す等により各層厚みが小さく（薄く）なる。ここで、各層材料の厚みが小さすぎると、取扱いが困難になるとともに、断面積の減少により飽和磁束密度に問題が生じる可能性がある。

- 15 このため、本発明においては、積層構造を採用する場合には、各層材料の最小厚みに制約を設けることが望ましいことが解った。具体的な値としては、実験結果あるいは経験則等に基づいて次のような設定が採用できる。

例えば、前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料は積層構造であり、積層構造を形成する各層材料は最小厚みが0.05mm以上に設定されていることが好ましい。

20

- 本発明の電子機器は、前記発電装置と、この発電装置により発生させた電気エネルギーにより作動される処理装置とを備えることを特徴とするものである。このような電子機器としては、例えば、携帯電話、PHS（簡易型携帯電話）、自動車や家屋等のキー（ライトやキーレスエントリ等の処理装置を含むキー）、ラジオ、パーソナルコンピュータ、電卓、ICカード等が利用できる。特に、本発明は、小型で携帯に適した電子機器に適用できる。
- 25

また、本発明の電子制御式時計は、前記発電装置と、この発電装置により発



生させた電気エネルギーにより時刻表示の駆動が行われる処理装置とを備えることを特徴とするものである。

- これらの電子機器や電子制御式時計によれば、発電装置を高効率化できるため、発電量を増加して多機能化を図ったり、発電装置を小型化して電子機器や
- 5 電子制御式時計の小型、軽量化を実現できる。

- 本発明の磁気回路の板厚設定方法は、永久磁石を有するロータと、磁気回路を構成する軟磁性材料からなるステータおよび磁心と、前記磁心に捲回されたコイルとを備えた発電装置において、磁気回路の板厚を設定する板厚設定方法
- 10 であって、前記軟磁性材料のヒステリシス損係数を  $k_h$ 、渦損係数を  $k_e$ 、抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、次の式(1)によって板厚  $d$  を設定することを特徴とするものである。

$$d = \sqrt{\frac{k_h}{k_e} \rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (1)$$

- このような本発明によれば、鉄損  $W$  を最小限にできる板厚  $d$  を容易に求める
- 15 ことができ、高効率の発電装置を容易に設計、製造することができる。

なお、本発明の板厚設定方法においては、先に発電装置の説明で述べた通り、軟磁性材料の種類に応じた板厚  $d$  を与える式(2)～式(5)を用いることができる。

- 本発明の板厚設定方法は、永久磁石を有するロータと、磁気回路を構成する軟磁性材料からなるステータおよび磁心と、前記磁心に捲回されたコイルとを備えた発電装置において、磁気回路の板厚を設定する板厚設定方法であって、ヒステリシス損係数を  $k_h$ 、渦損係数を  $k_e$ 、抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、次の式(1)で求められる厚さ  $d$
- 25 を、式(6)に代入して鉄損  $W$  ( $J/m^3$ ) の最小値  $W_1$  を求め、この最小値  $W_1$  よりも大きな基準値  $W_2$  を設定し、前記式(6)と鉄損基準値  $W_2$  とから、鉄損が基準値  $W_2$  以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに板厚  $d$  を設定することを特徴

とする。

$$d = \sqrt{\frac{k_h}{k_e} \rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (1)$$

$$W \equiv k_h d^{-1} B_m^{1.65} + k_e \frac{1}{\rho} d f^{0.75} B_m^2 \quad (6)$$

このような本発明によれば、加工上や強度上等の制約で板厚  $d$  を鉄損が最小値  $W_1$  となる厚さに設定できない場合であっても、鉄損  $W$  が所定の基準値  $W_2$ 、例えば鉄損最小値  $W_1$  の所定倍の値や、鉄損最小値  $W_1$  に所定の定数を加えた値など（材質や利用状況等で異なる）で設定された基準値  $W_2$  以下となるように、板厚範囲を設定することができる。従って、鉄損以外の他の条件（強度等）を満足しつつ、鉄損が小さな高効率の発電装置を設計、製造することができる。

このような基準値  $W_2$  としては、鉄損の最小値  $W_1$  の所定倍の値として設定することができる。この値は、軟磁性材料の種類や用途等に応じて最適な値が異なることがあり、実験あるいは経験則等に基づいて適切な設定を採用することが望ましい。

用途等が同じであっても、基準値  $W_2$  は軟磁性材料の材質（PC パーマロイ、スーパーマロイ、PD パーマロイ等）によって異なる。

例えば、前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料として PC パーマロイを用いる場合、この PC パーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、PC パーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) として、前記式 (2) で求められる厚さ  $d$  を、前記式 (7) に代入して鉄損  $W$  ( $J/m^3$ ) の最小値  $W_1$  を求め、前記発電装置が外力で回転する回転錘を駆動源とするものでなければ前記最小値  $W_1$  の 1.088 倍となる基準値  $W_2$  を設定し、前記発電装置が外力で回転する回転錘を駆動源とするものであれば前記最小値  $W_1$  の 1.760 倍となる基準値  $W_2$  を設定し、前記式 (7) と鉄損基準値  $W_2$  とから、鉄損

が基準値 $W_2$ 以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに設定されていることが望ましい。

- 同様に、軟磁性材料としてスーパーマロイを用いる場合、前記式(3)と前記式(8)を用いて最小値 $W_1$ を求め、前記発電装置が外力で回転する回転錘を駆動源とするものでなければ前記最小値 $W_1$ の2.355倍となる基準値 $W_2$ を設定し、前記発電装置が外力で回転する回転錘を駆動源とするものであれば前記最小値 $W_1$ の3.634倍となる基準値 $W_2$ を設定し、前記式(7)と鉄損基準値 $W_2$ とから、鉄損が基準値 $W_2$ 以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに設定されていることが望ましい。
- 10 同様に、軟磁性材料としてPDパーマロイを用いる場合、前記式(4)と前記式(9)を用い、最小値 $W_1$ の2.729倍となる基準値 $W_2$ を設定することが望ましい。

- 本発明の板厚設定方法において、前記ステータまたは磁心に用いる軟磁性材料は単層でも積層体でもよい。このような層構造の設定にあたっては、次の手順を利用することができる。
- 15 順を利用することができる。

すなわち、前記最小値 $W_1$ を与える板厚 $d$ 、前記ステータまたは磁心に要求される全体厚さ $D$ として、前記板厚 $d$ が全体厚さ $D$ を超える場合には前記板厚 $D$ の単層構造とし、前記板厚 $d$ が全体厚さ $D$ より小さい場合には前記板厚 $d$ の層を含む複数の板材による全体厚さ $D$ の積層構造とすることが望ましい。

- 20 最小鉄損のものを単層で構成できれば製造においても簡略化が可能である。
- 前記積層構造とする際に、前記最小値 $W_1$ を与える板厚 $d$ の層を含んで全体厚さ $D$ となる複数の板材の組合せを複数通り設定し、各組合せの中に鉄損 $W$ が前記基準値 $W_2$ 以下のものがあればこれを採用し、なければ前記板厚 $d$ の層より鉄損が大きな板厚の層を含んで全体厚さ $D$ となる複数の板材の組合せを複数通り設定し、各組合せの中に鉄損 $W$ が前記基準値 $W_2$ 以下のものがあればこれを採用することが望ましい。組合せの中に基準値 $W_2$ 以下のものが多数あれば、その中で最小の鉄損を与えるものを選択すればよい。
- 25

このような手順により、適切な層構造を有しかつ用途に適した鉄損を備えた板厚の軟磁性材料を設定することができる。

なお、このような層構造の設定においても、前述した各層材料の最小厚みに制約を設けることが望ましい。具体的な板厚等は、前述した発電装置の説明の通りであるのでここでは省略する。

## 5 図面の簡単な説明

図1は本発明の一実施形態における電子制御式機械時計の構成を示すブロック図である。

図2は図1の実施形態の電子制御式機械時計の要部を示す概略斜視図である。

10 図3は図1の実施形態のPC材を用いたステータにおける鉄損と板厚との関係を示すグラフである。

図4は図1の実施形態のスーパーマロイ材を用いたステータにおける鉄損と板厚との関係を示すグラフである。

図5は本発明の他の実施形態における発電装置を示す概略斜視図である。

15 図6は図5の実施形態のスーパーマロイ材を用いたステータにおける鉄損と板厚との関係を示すグラフである。

図7は図5の実施形態のPC材を用いたステータにおける鉄損と板厚との関係を示すグラフである。

20 図8は図5の実施形態のPB材を用いた磁心における鉄損と板厚との関係を示すグラフである。

図9は図5の実施形態のPD材を用いた磁心における鉄損と板厚との関係を示すグラフである。

図10は図5の変形例において磁心にPC材を用いた際の鉄損と板厚との関係を示すグラフである。

25

## 発明を実施するための最良の形態

以下に本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図1は、本発明を適用した発電装置を備える電子機器である電子制御式機械時計1の概要を示すブロック図である。また、図2には、その要部を示す斜視

図である。

電子制御式機械時計 1 は、ゼンマイ 2 a からの機械的エネルギーを増速輪列 5 を介して発電機（発電装置）20 に伝え、発電機 20 を駆動する。発電機 20 は、誘起電力を発生して電気的エネルギーを出力する。この発電機 20 からの交流出力は、昇圧整流、全波整流、半波整流、トランジスタ整流等からなる整流回路 61 を通して昇圧、整流され、電源回路となるコンデンサ 60 に充電供給される。

このコンデンサ 60 から供給される電力によって回転制御装置 50 が駆動される。この回転制御装置 50 は、発振回路 51、発電機 20 の回転検出回路 52、発電機 20 の制御回路 53 を備えて構成され、ワンチップ IC で実現されている。

発振回路 51 は時間標準源である水晶振動子 51 A を用いて発振信号を出力し、この発振信号は適宜分周されて基準信号として制御回路 53 に入力される。

一方、回転検出回路 52 は、発電機 20 の出力などに基づいてその回転を検出し、回転検出信号を出力する。

制御回路 53 は、回転検出回路 52 の回転検出信号および発振回路 51 からの基準信号を比較し、その差に応じて発電機 20 の速度を調整する信号を発電機 20 に出力している。この信号によって発電機 20 の調速機構が動作し、発電機 20 は基準信号に同期するように調速される。

なお、発電機 20 の調速方法は、例えば、発電機 20 の各端子間を閉ループさせてショートブレーキを掛けてブレーキ制御したり、発電機 20 に可変抵抗等を接続して発電機 20 のコイルに流れる電流値を変えることでブレーキ制御するように構成されている。

そして、発電機 20 が一定速度に調速されることで、発電機 20 の回転に連動する増速輪列 5 に取り付けられた指針 10 が決められた速度で駆動され、時刻を表示するようにされている。

より具体的には、図 2 に示すように、ゼンマイ 2 a（図 2 では図示せず）の機械的エネルギーにより香箱車 2 の香箱歯車 2 b が回転し、二番車 6、三番車 7

、四番車 8、五番車 9 からなる増速輪列 5 を介してロータ 2 1 へ伝達される。  
ここで、二番車 6 には分針 1 1 が、四番車 8 には秒針 1 2 が、図示しない筒車  
には時針がそれぞれ固定され、これらの時針、分針 1 1、秒針 1 2 で指針 1 0  
が構成されている。

- 5 発電機 2 0 は、永久磁石を有するロータ 2 1、ステータ（コア、磁心） 2 2  
、コイル 2 3 を備えている。ステータ 2 2 は、同一形状の一对のコ字型ステー  
タとされ、その磁心部分の外周に同一巻回数のコイル 2 3 を巻線し、両コイル  
2 3 間は直列接続されている。

- 10 ステータ 2 2 の一端部には、半円状のステータ孔が形成され、ロータ 2 1 が  
配置されている。また、ステータ 2 2 の他端部は、その側端面が互いに密着さ  
れているとともに、各他端部に跨って連結板 2 4 が密着固定されている。

- 各ステータ 2 2 および連結板 2 4 は、P C パーマロイ材等の軟磁性材料で構  
成され、2 枚の板材を積層した二枚積層タイプとされている。そして、このコ  
イル 2 3 が巻かれた磁心が一体化されたステータ 2 2 の各板厚  $d$  を設定する際  
15 に本発明が適用されている。

なお、本実施形態において、磁心はステータ 2 2 に一体化されているので、  
板厚の設定は同時に行われることになる。また、連結板 2 4 の板厚設定も同様  
に行われる。以下、本発明に基づく板厚設定について説明する。

- 20 本実施形態において、ステータ 2 2 には、各種のパーマロイ材（P C、スー  
パーマロイ、P B、P D）を用いる。各パーマロイ材の特性は下記の表 1 に示  
す通りである。なお、表 1 におけるヒステリシス損係数  $k_h$ 、渦損係数  $k_e$  は予  
め実験により求めたものである。また、スーパーマロイは JIS 規格ではパーマロ  
イ C に属し、その中で最も透磁率の高い材料として位置付けられているもので  
25 ある。

表 1

	P C	スーパー マロイ	P B	P D
組成	76%Ni- Mo-Cu-Fe	79%Ni-Mo-Fe	45%Ni-Fe	36%Ni-Fe
JIS規格	パーマロイ C	パーマロイ C	パーマロイ B	パーマロイ D
ヒステリシス 損係数	$1.72 \times 10^{-3}$	$0.36 \times 10^{-3}$	$28.50 \times 10^{-3}$	$23.58 \times 10^{-3}$
渦損係数	$2.63 \times 10^{-3}$	←	←	←
抵抗率 ( $\mu \Omega \cdot m$ )	60	60	45	75

例えば、ステータ 22 を P C パーマロイ材で構成している場合、本発明に基づいて板厚を設定すると、先ず、前述した式(1)に、ヒステリシス損係数  $k_h$ 、渦損係数  $k_e$ 、抵抗率  $\rho$  を代入し、さらに電子制御式機械時計 1 の設定周波数  $f$  (本実施形態では 8 Hz) と、最大振幅磁束密度 (交番最大磁束密度)  $B_m$  (本実施形態では 0.2 T) とを代入し、これらにより板厚  $d$  は約 0.38 mm と算出される。

また、前述した式(6)にこれらの数値を代入し、鉄損  $W$  と板厚  $d$  との関係を求めると、図 3 に示すようなグラフになる。このグラフからも、板厚  $d$  が約 0.38 mm 部分で鉄損  $W$  が最小値  $W_1$  (約  $0.635 \text{ J/m}^3$ ) であることが分かる。

これらの版厚の計算は、例えば P C パーマロイ材であれば前述した式(2)を利用することで、この材料に応じた定数が予め組込み済なので、計算をより簡単にできる。同様に、スーパーマロイ材であれば式(3)、P D 材であれば式(4)、P B 材であれば式(5)を利用すればよい。

ところで、図 3 のグラフからは、鉄損が最小となる板厚  $d$  よりも板厚が小さくなると鉄損が大幅に上昇し、一方で板厚が大きくなると鉄損は徐々に大きくなる特性を有することが分かる。そして、鉄損がある程度大きくなっても、従来品よりも鉄損が小さくできる範囲を見出すことができる。

このような範囲は、先に式(1)で求めた厚さ  $d$  を、前述した式(6)に代入して鉄損  $W$  ( $\text{J}/\text{m}^3$ ) の最小値  $W_1$  を求め、この最小値  $W_1$  よりも大きな基準値  $W_2$  を設定し、前記式(6)と鉄損基準値  $W_2$  とから、鉄損が基準値  $W_2$  以下となる板厚範囲として設定することができる。

- 5 各種実験等の結果、P C材では、最小値  $W_1$  の1.088倍の基準値  $W_2$  以下の鉄損となるように版厚を設定すれば、従来品よりも鉄損を少ない設定にできることが解っている。同様に、スーパーマロイ材では2.355倍、P D材では2.729倍が好適であることが解っている。

- 10 以上より、ステータ 2 2 を P C材で構成している場合、基準値  $W_2$  を  $0.692 \text{ J}/\text{m}^3$  に設定し、鉄損  $W$  をこの基準値  $W_2$  以下の鉄損にする板厚  $d$  ということで、約  $0.30 \sim 0.55 \text{ mm}$  の範囲で設定すればよいことが分かる。

なお、基準値  $W_2$  の設定は材質や用途等に応じて適宜選択すべきである。

- 15 例えば、基準値  $W_2$  は最小値  $W_1$  の約2倍 ( $1 \sim 1.2 \text{ J}/\text{m}^3$ ) 程度と大きくしてもよく、この場合には本実施形態のステータ 2 2 の板厚  $d$  は約  $0.1 \sim 1 \text{ mm}$  の範囲にすればよく、あるいは鉄損  $W$  が  $0.8 \text{ J}/\text{m}^3$  以下になる約  $0.2 \sim 0.75 \text{ mm}$  の範囲に設定してもよい。一方、鉄損を小さく抑える必要がある場合等、基準値  $W_2$  は最小値  $W_1$  の1.05倍つまり鉄損  $W$  が  $0.66 \text{ J}/\text{m}^3$  程度になる厚さ約  $0.30 \sim 0.50 \text{ mm}$  の範囲に設定してもよく、前述のように基準値  $W_2$  を用いずに最小値  $W_1$  を与える厚さ約  $0.38 \text{ mm}$  に設定してもよい。

- 20 一方、実際の板厚  $d$  の設定は、ステータ 2 2 や磁心の強度、重量、寸法、加工性や製造効率、製造コスト等を考慮して上記範囲内に設定される。

- 25 例えば、磁心はコイル 2 3 を数千ターン捲回するので、サイズ（板厚や幅寸法）もできるだけ小さいほうがよい。このため、断面積がとれない場合には、ある程度の鉄損を犠牲にしても、P B材やP D材等の飽和磁束密度が高い材料を用いて磁束を確保することが望ましい。一方、ステータ 2 2 としては、ある程度の厚さ（断面積）が確保できるため、磁束密度よりも鉄損に配慮して所定の磁束を確保することが望ましい。つまり、透磁率が高くヒステリシス損が抑えられる材料、電気抵抗率が小さく渦損が抑えられる材料ということで、P C またはスーパーマロイ材が好ましい。このスーパーマロイ材について図3と同



様のグラフを描くと図4に示すようなグラフになる。

なお、本実施形態の発電機20では、ステータ22と磁心とが一体化されているため、ステータ22の材質および板厚の設定にあたっては、ステータおよび磁心に要求される性能などの各条件を考慮して最終的な設定が行われる。

- 5     例えば、磁束数確保などのために複数の板を積層することもあり、このために材質の選択に加えて積層構造の選択が行われる。

本実施形態において、ステータ22の構造は、例えば次のような手順で設定される。

- 10    まず、前記最小値 $W_1$ を与える板厚 $d$ 、ステータ22に要求される全体厚さ $D$ として、前記板厚 $d$ が全体厚さ $D$ を超える場合には前記板厚 $D$ の単層構造とし、前記板厚 $d$ が全体厚さ $D$ より小さい場合には前記板厚 $d$ の層を含む複数の板材による全体厚さ $D$ の積層構造とする。

- 15    具体的数値をあてはめてみると、ステータ22の設計上、全体厚さ $D=0.5\text{mm}$ を確保したい場合、厚さ $0.5\text{mm}$ の単層 ( $0.5*1$ ) のPC材の鉄損は基準値 $W_2=0.692\text{J/m}^3$ 以下であり、そのまま単層でステータ22として採用することができる。但し、積層構造についても選択可能性の確認を行う。

- 20    前記積層構造とする場合には、前記最小値 $W_1$ を与える板厚 $d$ の層を含んで全体厚さ $D$ となる複数の板材の組合せを複数通り設定し、各組合せの中に鉄損 $W$ が前記基準値 $W_2$ 以下のものがあればこれを採用し、なければ前記板厚 $d$ の層より鉄損が大きな板厚の層を含んで全体厚さ $D$ となる複数の板材の組合せを複数通り設定し、各組合せの中に鉄損 $W$ が前記基準値 $W_2$ 以下のものがあればこれを採用することが望ましい。組合せの中に基準値 $W_2$ 以下のものが多数あれば、その中で最小の鉄損を与えるものを選択する。

- 25    具体的数値をあてはめてみると、最小鉄損となる板厚は、前述のように計算上は $0.38\text{mm}$ であるが、 $0.05\text{mm}$ 刻みが現実的であるため $0.4\text{mm}$ とする。この $0.4\text{mm}$ でも図3のグラフでは最小鉄損であると認められる。前述の $0.05\text{mm}$ 刻みの元では、この $0.4\text{mm}$ 板厚を含む全体厚み $0.5\text{mm}$ の組合せは $0.4\text{mm}$ が1枚と $0.1\text{mm}$ が1枚 ( $(0.4*1)+(0.1*1)$ と略記) だけとなる。一方、鉄損が $0.4\text{mm}$ 板厚に近いものとし

ては、単体での鉄損が基準値 $W_2$ 以下となる厚さ0.35mm、0.3mm、および単体での鉄損が基準値 $W_2$ 以下から僅かに外れる厚さ0.25mmがあり、0.35mmと0.15mmとを各1枚、0.3mmを1枚と0.2mmを1枚、0.25mmを2枚の組合せが可能である。P C材における組合せの例と、各々の組合せにおける鉄損の実測値とを表2に示す。

表 2

積層構造(mm*枚数)	鉄損(J/mm <sup>3</sup> )
(0.5*1)	0.659005
(0.4*1)+(0.1*1)	0.767154
(0.35*1)+(0.15*1)	0.725422
(0.3*1)+(0.2*1)	0.700383
(0.25*2)	0.692037

表2の通り、(0.4\*1)+(0.1\*1)、(0.35\*1)+(0.15\*1)、(0.3\*1)+(0.2\*1)の組合せは、0.3mmから0.4mmの板材単体では鉄損が基準値 $W_2$ 以下に入るが、積層した状態では各々の鉄損が基準値 $W_2$ を超えており、採用できない。しかし、(0.25\*2)の組合せは、0.25mm単体では鉄損が基準値 $W_2$ の範囲から僅かに外れるが、積層した状態では鉄損が基準値 $W_2$ の範囲内と認められるから、採用することができる。

以上から、ステータ22としては、(0.5\*1)単層と(0.25\*2)の組合せが採用できることが解る。特に、(0.5\*1)単層は(0.25\*2)の組合せより鉄損が小さいうえ、単層であるため製造においても簡略化が可能といえる。

従って、以上の設定手順によれば、板厚0.5mmの単層P C板が最良であり、板厚0.25mmのP C板を2枚積層したものがこれに次いで好適という結果が得られる。

同様に、スーパーマロイ材における組合せの例と、各々の組合せにおける鉄損の実測値は表3のようになる。

表 3

積層構造 (mm*枚数)	鉄損 (J/mm <sup>3</sup> )
(0.5*1)	0.468071
(0.4*1)+(0.1*1)	0.385284
(0.35*1)+(0.15*1)	0.343553
(0.3*1)+(0.2*1)	0.318514
(0.25*2)	0.310167
(0.2*2)+(0.1*1)	0.302498
(0.15*2)+(0.2*1)	0.294152
(0.15*3)+(0.05*1)	0.319868
(0.1*5)	0.337237

表 3 で、(0.5\*1) から (0.25\*2) までの組合せ設定は、前述した表 2 (P C 材の  
 5 例) と同じである。更に、スーパーマロイ材の場合、基準値  $W_2$  以下となる板  
 厚の範囲が広く、0.038mm から 0.75mm におよぶ。そこで、0.1mm、0.15mm、0.2mm  
 の板厚のものを使った組合せ例を追加している。

表 3 によれば、スーパーマロイ材で構成する場合には全ての組合せが基準値  
 $W_2$  以内となり、採用可能である。中でも、鉄損の最小値  $W_1$  を示す板厚  $D=0.2$ mm  
 10 を含む (0.15\*2)+(0.2\*1) の組合せがステータ 2.2 としても最小鉄損を示して  
 おり、磁気特性を優先する場合にはこの組合せを採用することが望ましいといえ  
 る。

しかし、板厚 0.20mm を 1 枚と板厚 0.15mm を 2 枚という板厚の異なる要素の積  
 層が必要になるため、組立加工性は低下する。このため、鉄損の絶対値が元々  
 15 小さいスーパーマロイ材を用いた場合には、板厚 0.25mm の場合でも鉄損  $W$  は  
 0.31 (J/m<sup>3</sup>) しかないことを考慮し、組立可能性を優先して板厚 0.25mm を 2 枚積  
 層する組合せを選択するようにしてもよい。

一般的に、スーパーマロイ材はヒステリシス損失係数が更に一桁小さい等、P  
 C 材よりも磁気特性に優れるとされている。前述した P C 材と比較しても、同

じ周波数 ( $f = 8 \text{ Hz}$ )、最大振幅磁束密度 ( $B_m = 0.2 \text{ T}$ ) とすると最小鉄損を約  $0.3 (\text{J}/\text{m}^3)$  と約半分にでき、各板厚においても全般的に鉄損が小さくなっていることが分かる。また、最小鉄損時の板厚  $d$  は、約  $0.2 \text{ mm}$  であり、PC材の場合の半分の厚さであることが分かる。従って、スーパーマロイを用いれば、鉄損をより減少でき、かつ板厚も少なくできるため、より薄型でかつ高効率の発電機を実現できる。

なお、これらの積層用の板材の選択にあたっては、機械的強度確保のため、材料毎に最小厚み制限を設けることが望ましい。

例えば、PCパーマロイ材を用いる場合には最小厚みが  $0.15 \text{ mm}$ 、スーパーマロイ材では  $0.10 \text{ mm}$ 、PDパーマロイでは  $0.25 \text{ mm}$  となるように最小厚みの制限値を設けることが望ましい。

このような本実施形態によれば、次のような効果が得られる。

(1) ステータ 22 に使用する材料と、発電機 20 の周波数、最大振幅磁束密度が決まっていれば、ステータ (磁心) 22 の板厚  $d$  を前述の式 (1) を用いて簡単に算出することができる。このため、従来であれば、試作を繰り返して最適な寸法を算出しなければならなかったのに比べて、鉄損が小さな発電機 20 を簡単に設計、製造することができ、発電機 20 の高効率化も容易に実現できる。

(2) 前述した式 (6) に基づき、板厚と鉄損との関係を明らかにできるため、他の条件によって板厚を最小鉄損となる板厚に設定できない場合でも、適宜板材を積層することなどによって他の条件を満足しつつ、できるだけ鉄損の小さな発電機 20 を容易に構成することができる。

(3) さらに、ステータ 22 の材質によって異なるヒステリシス損係数  $k_h$  や、渦損係数  $k_e$  は、予め実験等で求めておくことができるため、ステータ 22 の材質を変えた場合の鉄損と板厚との関係も容易に算出することができる。このため、発電機 20 を設計する際に、最適な材料の選定と、その板厚設定を極めて容易に行うことができ、設計効率も向上することができる。

(4) 発電機 20 の鉄損を削減できて高効率化することができるため、ゼンマイ 2a によってロータ 21 を回転させて発電する際のエネルギーのロスを減少で

き、所定の電力を発電するために必要な機械的エネルギーも減少できるため、ゼンマイ 2 a の持続時間も延長することができ、長期間持続可能な時計 1 にすることができる。

また、従来と同じ持続時間でよい場合には、必要となる機械的エネルギーを削減できるため、ゼンマイ 2 a つまりは時計 1 を小型、薄型化できる。

図 5 には、本発明の他の実施形態が示されている。

本実施形態の発電機（発電装置）70は、腕の動きによって回転する片重りの回転錘71を備えたものである。すなわち、発電機70は、前記回転錘71と、この回転錘71から運動エネルギーを伝達する伝達機構としての歯車72、73と、歯車73によって回転されるロータ74と、ロータ74が配置されるロータ穴を有するステータ75と、このステータ75およびロータ74と磁気回路を構成する磁心76と、磁心76に巻回された発電用コイル77とから構成されている。

このような発電機70において、ステータ75や磁心（コア）76の板厚は、その材質、周波数、最大振幅磁束密度が決まっていれば、本発明に基づいて鉄損 $W$ が最小となる厚さを求めることができる。

発電機70のステータ75においては、平均周波数 $f=50$  (Hz)、最大振幅磁束密度 $B_m=0.65$  (T) と設定することができる。ステータ75としては、スーパーマロイ材およびPC材が利用可能である。

先ず、ステータ75にスーパーマロイ材を利用する場合、式(1)および式(6)からその鉄損の最小値 $W_1$ は約 $5.259$  (J/m<sup>3</sup>)であり、その時の板厚 $d=0.1$ mmである。この際の鉄損 $W$ と板厚 $d$ との関係は、図6のグラフに表示されるようになる。従って、他の条件などで鉄損が最小となる板厚に設定できない場合には、このグラフに基づいて最小に近い他の板厚を設定すればよい。

例えば、鉄損の基準値 $W_2$ を $19.114$  J/m<sup>3</sup>（最小値 $W_1$ の約3.634倍）とし、この基準値 $W_2$ 以下の鉄損にする場合には、板厚 $d$ は約 $0.01\sim0.5$ mmの範囲で設定すればよい。

ステータ 7 5 の全体厚さ  $D = 0.5\text{mm}$  にする場合は、下記の表 4 から板厚  $0.1\text{mm}$  を 5 枚積層するか板厚  $0.05\text{mm}$  を 10 枚積層する場合が鉄損最小になる。但し、板厚  $0.05\text{mm}$  のスーパーマロイ材は薄いために組立や取扱いが困難であり、生産性の向上が難しいため、ここでは板厚  $0.1\text{mm}$  を 5 枚積層する組合せが最適といえる。

表 4

積層構造 (mm*枚数)	鉄損 ( $\text{J}/\text{mm}^3$ )
$(0.2*2) + (0.1*1)$	7.337195
$(0.25*2)$	9.421637
$(0.15*3) + (0.05*1)$	6.298179
$(0.05*10)$	5.291201
$(0.15*2) + (0.2*1)$	6.988720
$(0.1*5)$	5.259162

次に、ステータ 7 5 に P C パーマロイ材を利用する場合、式 (1) および式 (6) からその鉄損の最小値  $W_1$  は約  $10.86 (\text{J}/\text{m}^3)$  であり、その時の板厚  $d = 0.15\text{mm}$  である。この際の鉄損  $W$  と板厚  $d$  との関係は、図 7 のグラフに表示されるようになる。そして、鉄損の基準値  $W_2$  を  $19.114 \text{J}/\text{m}^3$  (最小値  $W_1$  の約 1.760 倍) とし、この基準値  $W_2$  以下の鉄損にする場合には、板厚  $d$  は約  $0.05 \sim 0.45\text{mm}$  の範囲で設定すればよい。

ステータ 7 5 の全体厚さ  $D = 0.5\text{mm}$  にする場合は、下記の表 5 から板厚  $0.15\text{mm}$  を 2 枚と  $0.2\text{mm}$  を 1 枚とを積層する組合せが最適といえる。

表 5

積層構造 (mm*枚数)	鉄損 ( $\text{J}/\text{mm}^3$ )
$(0.15*3) + (0.05*1)$	11.63832
$(0.1*5)$	11.93434
$(0.15*2) + (0.2*1)$	10.99382
$(0.2*2) + (0.1*1)$	11.34230
$(0.25*2)$	12.09171

このように、ステータ 7 5 の厚さや積層構造など、各種の条件を考慮しながら

ら、鉄損の小さな発電機70を設計、製造することができ、発電機70の高効率化も実現できる。このため、このような発電機70が組み込まれる時計などの電子機器の小型化や持続時間の延長を実現することができる。

- 5      このような発電機70において、ステータ75や磁心(コア)76の板厚は、その材質、周波数、最大振幅磁束密度が決まっていれば、本発明に基づいて鉄損Wが最小となる厚さを求めることができる。

- 10      発電機70の磁心76としては、PB材(PBパーマロイ材)、PD材(PDパーマロイ材)が用いられる。PB材については、平均周波数 $f=50$  (Hz)、最大振幅磁束密度 $B_m=0.9$  (T) と設定することができる。PD材については、平均周波数 $f=50$  (Hz)、最大振幅磁束密度 $B_m=0.75$  (T) と設定することができる。

- 15      PB材やPD材は、鉄損が大きい点ではPC材に比べて劣るが、コイル77を多数捲回して厚くなるために、サイズ(断面積)を小さくしたい磁心76においては、PC材に比べて飽和磁束密度が大きいPB材やPD材を利用するほうが望ましい。

- 20      図8、図9から分かるように、鉄損Wの最小値は約50~80 (J/m<sup>3</sup>)であり、PC材に比べると大きい。また、PB材、PD材ともに、ある程度の板厚(例えば、0.2mm)以下では板厚が小さくなるに従って鉄損Wは急激に大きくなるが、その厚さ以上になると、PC材のように鉄損Wが上昇せずに殆ど変化せず、ほぼ一定の値を維持する。従って、このような特性を考慮して設計すれば、鉄損Wを減少しつつ、他の条件を満足する磁心76を設計、製造することができる。

- 25      従って、発電機70においては、磁心76は、板厚0.5mmのPD材を1枚利用して構成することが最も好ましい。一方、ステータ75は、板厚0.15mmのPC材2枚と、板厚0.2mmのPC材1枚とを組み合わせる構成してもよいが、板厚0.05mmのスーパーマロイ材を10枚積層して構成することが最も好ましい。

なお、本発明は前述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を

達成できる範囲での変形、改良等は本発明に含まれるものである。

例えば、本発明の発電装置が組み込まれる計時装置は、腕時計に限らず、置き時計、クロック等の各種時計や、時計機能以外に携帯電話機、ページャ、電卓、携帯用パーソナルコンピュータ、携帯ラジオ等の機能を有するものでもよい。この際、時刻を表示する処理装置としては、前記実施形態のような指針10に限らず、時刻をデジタル表示する液晶表示装置などを利用してもよい。

さらに、本発明の発電装置は、計時装置に組み込まれるものに限らず、携帯型の血圧計、携帯電話機、PHS、ページャ、万歩計、電卓、ノートパソコン等のパーソナルコンピュータ、電子手帳、PDA（小型情報端末、「Personal Digital Assistant」）、携帯ラジオ、玩具、ICカード、自動車や家屋用のキー等の各種の電子機器にも適用することができる。要するに電力を消費する電子機器であれば広く適用できる。特に、ステータや磁心の板厚を鉄損が小さくなるように設計できるため、持続時間が長く、ゼンマイ2aや回転錘71等も小型化できて非常に小型の発電装置とすることができるため、携帯用に小型化された各種電子機器に最適である。

このような携帯用の電子機器では、従来、乾電池や充電器が用いられていたが、本発明の発電装置を組み込めば、電池が無くても電子機器内の電子回路や機構系等の処理装置を動作させることができ、電池交換を不要にでき、環境にも配慮できる。その上、回転錘やゼンマイを組み込むことで、手動で発電できるため、充電器のような充電作業を不要にでき、災害時やアウトドア、外出時等でも電子機器を作動させることができる。

さらに、上記発電機20、70において、材質や周波数、最大振幅磁束密度は適宜変更してよく、これらを変更した場合でも前述した手順で鉄損Wと板厚dとを順次設定すればよい。

例えば、図10には、前述した図5の実施形態におけるステータ75として、基本的に図7と同条件だが周波数だけを100Hzと倍にした時の例が示されている。この図10を図7と比較して分かるように、周波数が増えると鉄損も比例して増加する。但し、全体的な傾向、例えば、最小鉄損の板厚が約0.12～0.16mm程度と同様であり、板厚の増加に伴って増加する鉄損の割合（グラフの



傾斜角度) 等も殆ど一致していることが分かる。

従って、特に回転錘 7 1 でロータ 7 4 を駆動する発電機 7 0 では、ロータ 7 4 の回転が一定速度ではないため、周波数の変化を考慮して設計することも重要である。

- 5      このように、本発明によれば、実際に試作品を作ることなく、鉄損を減少できるステータや磁心の板厚を算出することができるため、設計効率を向上でき、開発期間も短縮できて、高効率の発電機を容易に製造できる点で非常に有効であることが分かる。

#### 10    産業上の利用可能性

本発明は、発電装置およびその磁気回路の板厚設定方法に関し、携帯電話機、携帯型情報機器等の小型、携帯型の各種電子機器あるいは電子制御式時計などの発電装置として利用できる。

## 請求の範囲

1. 永久磁石を有するロータと、磁気回路を構成する軟磁性材料からなるステータおよび磁心と、前記磁心に捲回されたコイルとを備えた発電装置において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料の板厚  $d$  (m) は、

その軟磁性材料のヒステリシス損係数を  $k_h$ 、渦損係数を  $k_e$ 、抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{\frac{k_h}{k_e} \rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (1)$$

で求められる厚さに設定されていることを特徴とする発電装置。

2. 請求項 1 に記載の発電装置において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料は P C パーマロイ材であり、

この P C パーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、P C パーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{0.654 \rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (2)$$

で求められる厚さに設定されていることを特徴とする発電装置。

3. 請求項 1 に記載の発電装置において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料はスーパーマロイ材であり、

このスーパーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、スーパーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{0.137 \rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (3)$$

で求められる厚さに設定されていることを特徴とする発電装置。

4. 請求項1に記載の発電装置において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料はPDパーマロイ材であり、

このPDパーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、PDパーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{1.339\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (4)$$

で求められる厚さに設定されていることを特徴とする発電装置。

5. 請求項1に記載の発電装置において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料はPBパーマロイ材であり、

このPBパーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、PBパーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{3.049\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (5)$$

で求められる厚さに設定されていることを特徴とする発電装置。

6. 永久磁石を有するロータと、磁気回路を構成する軟磁性材料からなるステータおよび磁心と、前記磁心に捲回されたコイルとを備えた発電装置において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料の板厚  $d$  (m) は、

その軟磁性材料のヒステリシス損係数を  $k_h$ 、渦損係数を  $k_e$ 、抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{\frac{k_h}{k_e} \rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (1)$$

で求められる厚さ  $d$  を、

$$W \equiv k_h d^{-1} B_m^{1.65} + k_e \frac{1}{\rho} d f^{0.75} B_m^2 \quad (6)$$

に代入して鉄損  $W$  ( $\text{J}/\text{m}^3$ ) の最小値  $W_1$  を求め、この最小値  $W_1$  よりも大きな基準値  $W_2$  を設定し、前記式 (6) と鉄損基準値  $W_2$  とから、鉄損が基準値  $W_2$  以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに設定されていることを特徴とする発電装置。

5

7. 請求項 6 に記載の発電装置において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料は P C パーマロイであり、

この P C パーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、P C パーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot \text{m}$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{0.654\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (2)$$

で求められる厚さ  $d$  を、

$$W \cong 1.72 \times 10^{-3} d^{-1} B_m^{1.65} + 2.63 \times 10^{-3} \frac{1}{\rho} d f^{0.75} B_m^2 \quad (7)$$

に代入して鉄損  $W$  ( $\text{J}/\text{m}^3$ ) の最小値  $W_1$  を求め、この最小値  $W_1$  の 1.088 倍となる基準値  $W_2$  を設定し、前記式 (7) と鉄損基準値  $W_2$  とから、鉄損が基準値  $W_2$  以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに設定されていることを特徴とする発電装置。

8. 請求項 6 に記載の発電装置において、

前記発電装置は外力で回転する回転錘を駆動源とするものであり、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料は P C パーマロイであり、

この P C パーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、P C パーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot \text{m}$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{0.654\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (2)$$

で求められる厚さ  $d$  を、

$$W \cong 1.72 \times 10^{-3} d^{-1} B_m^{1.65} + 2.63 \times 10^{-3} \frac{1}{\rho} d f^{0.75} B_m^2 \quad (7)$$

に代入して鉄損  $W$  ( $J/m^3$ ) の最小値  $W_1$  を求め、この最小値  $W_1$  の 1.760 倍となる基準値  $W_2$  を設定し、前記式 (7) と鉄損基準値  $W_2$  とから、鉄損が基準値  $W_2$  以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに設定されていることを特徴とする発電装置。

9. 請求項 6 に記載の発電装置において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料はスーパーマロイであり、

このスーパーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、スーパーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{0.137 \rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (3)$$

で求められる厚さ  $d$  を、

$$W \cong 0.36 \times 10^{-3} d^{-1} B_m^{1.65} + 2.63 \times 10^{-3} \frac{1}{\rho} d f^{0.75} B_m^2 \quad (8)$$

に代入して鉄損  $W$  ( $J/m^3$ ) の最小値  $W_1$  を求め、この最小値  $W_1$  の 2.355 倍となる基準値  $W_2$  を設定し、前記式 (8) と鉄損基準値  $W_2$  とから、鉄損が基準値  $W_2$  以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに設定されていることを特徴とする発電装置。

10. 請求項 6 に記載の発電装置において、

前記発電装置は外力で回転する回転錘を駆動源とするものであり、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料はスーパーマロイであり、

このスーパーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、スーパーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{0.137 \rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (3)$$

で求められる厚さ  $d$  を、

$$W \cong 0.36 \times 10^{-3} d^{-1} B_m^{1.65} + 2.63 \times 10^{-3} \frac{1}{\rho} df^{0.75} B_m^2 \quad (8)$$

に代入して鉄損  $W$  ( $J/m^3$ ) の最小値  $W_1$  を求め、この最小値  $W_1$  の 3.634 倍となる基準値  $W_2$  を設定し、前記式 (8) と鉄損基準値  $W_2$  とから、鉄損が基準値  $W_2$  以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに設定されていることを特徴とする発電装置。

1 1. 請求項 6 に記載の発電装置において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料は PD パーマロイであり、

この PD パーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、PD パーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{1.339\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (4)$$

で求められる厚さ  $d$  を、

$$W \cong 23.58 \times 10^{-3} d^{-1} B_m^{1.65} + 2.63 \times 10^{-3} \frac{1}{\rho} df^{0.75} B_m^2 \quad (9)$$

に代入して鉄損  $W$  ( $J/m^3$ ) の最小値  $W_1$  を求め、この最小値  $W_1$  の 2.729 倍となる基準値  $W_2$  を設定し、前記式 (9) と鉄損基準値  $W_2$  とから、鉄損が基準値  $W_2$  以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに設定されていることを特徴とする発電装置。

1 2. 請求項 1 ～ 1 1 のいずれかに記載の発電装置において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方は、前記板厚  $d$  に設定された軟磁性材料を単層あるいは積層して構成されていることを特徴とする発電装置。

1 3. 請求項 1 2 に記載の発電装置において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料は積層構造であり、積層構造を形成する各層材料は最小厚みが 0.05mm 以上に設定されていることを特徴とする発電装置。

1 4. 請求項 1 ～ 1 3 のいずれかに記載の発電装置と、この発電装置により発生させた電気エネルギーにより作動される処理装置とを備えることを特徴とす

る電子機器。

15. 請求項1～14のいずれかに記載の発電装置と、この発電装置により発生させた電気エネルギーにより時刻表示の駆動が行われる処理装置とを備えることを特徴とする電子制御式時計。

- 5 16. 永久磁石を有するロータと、磁気回路を構成する軟磁性材料からなるステータおよび磁心と、前記磁心に捲回されたコイルとを備えた発電装置において、磁気回路の板厚を設定する板厚設定方法であって、

前記軟磁性材料のヒステリシス損係数を $k_h$ 、渦損係数を $k_e$ 、抵抗率を $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を $B_m$  (T)とした場合、

10 
$$d = \sqrt{\frac{k_h}{k_e}} \rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175} \quad (1)$$

によって板厚 $d$ を設定することを特徴とする発電装置における磁気回路の板厚設定方法。

- 15 17. 永久磁石を有するロータと、磁気回路を構成する軟磁性材料からなるステータおよび磁心と、前記磁心に捲回されたコイルとを備えた発電装置において、磁気回路の板厚を設定する板厚設定方法であって、

前記軟磁性材料のヒステリシス損係数を $k_h$ 、渦損係数を $k_e$ 、抵抗率を $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を $B_m$  (T)とした場合、

$$d = \sqrt{\frac{k_h}{k_e}} \rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175} \quad (1)$$

で求められる厚さ $d$ を、

20 
$$W \equiv k_h d^{-1} B_m^{1.65} + k_e \frac{1}{\rho} d f^{0.75} B_m^2 \quad (6)$$

に代入して鉄損 $W$  (J/m<sup>3</sup>)の最小値 $W_1$ を求め、この最小値 $W_1$ よりも大きな基準値 $W_2$ を設定し、前記式(6)と鉄損基準値 $W_2$ とから、鉄損が基準値 $W_2$ 以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに板厚 $d$ を設定することを特徴とする発電装置における磁気回路の板厚設定方法。

18. 請求項17に記載の発電装置における磁気回路の板厚設定方法において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料はP C パーマロイであり、

- 5 このP C パーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、P C パーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{0.654\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (2)$$

で求められる厚さ  $d$  を、

$$W \cong 1.72 \times 10^{-3} d^{-1} B_m^{1.65} + 2.63 \times 10^{-3} \frac{1}{\rho} df^{0.75} B_m^2 \quad (7)$$

- 10 に代入して鉄損  $W$  (J/m<sup>3</sup>) の最小値  $W_1$  を求め、前記発電装置が外力で回転する回転錘を駆動源とするものでなければ前記最小値  $W_1$  の1.088倍となる基準値  $W_2$  を設定し、前記発電装置が外力で回転する回転錘を駆動源とするものであれば前記最小値  $W_1$  の1.760倍となる基準値  $W_2$  を設定し、前記式(7)と鉄損基準値  $W_2$  とから、鉄損が基準値  $W_2$  以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに設定されていることを特徴とする発電装置における磁気回路の板厚設定方法。
- 15

19. 請求項17に記載の発電装置における磁気回路の板厚設定方法において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料はスーパーマロイであり、

- 20 このスーパーマロイ材の板厚  $d$  (m) は、スーパーマロイ材の抵抗率を  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を  $B_m$  (T) とした場合、

$$d = \sqrt{0.137\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (3)$$

で求められる厚さ  $d$  を、

$$W \cong 0.36 \times 10^{-3} d^{-1} B_m^{1.65} + 2.63 \times 10^{-3} \frac{1}{\rho} df^{0.75} B_m^2 \quad (8)$$

- 25 に代入して鉄損  $W$  (J/m<sup>3</sup>) の最小値  $W_1$  を求め、前記発電装置が外力で回転する回



転錘を駆動源とするものでなければ前記最小値 $W_1$ の2.355倍となる基準値 $W_2$ を設定し、前記発電装置が外力で回転する回転錘を駆動源とするものであれば前記最小値 $W_1$ の3.634倍となる基準値 $W_2$ を設定し、前記式(8)と鉄損基準値 $W_2$ とから、鉄損が基準値 $W_2$ 以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに設定されていることを特徴とする発電装置における磁気回路の板厚設定方法。

20. 請求項17に記載の発電装置における磁気回路の板厚設定方法において、

前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料はPDパーマロイであり、

10 このPDパーマロイ材の板厚 $d$  (m)は、PDパーマロイ材の抵抗率を $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数を $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度を $B_m$  (T)とした場合、

$$d = \sqrt{1.339\rho \cdot f^{-0.375} B_m^{-0.175}} \quad (4)$$

で求められる厚さ $d$ を、

$$W \cong 23.58 \times 10^{-3} d^{-1} B_m^{1.65} + 2.63 \times 10^{-3} \frac{1}{\rho} d f^{0.75} B_m^2 \quad (9)$$

15 に代入して鉄損 $W$  (J/m<sup>3</sup>)の最小値 $W_1$ を求め、この最小値 $W_1$ の2.72倍となる基準値 $W_2$ を設定し、前記式(9)と鉄損基準値 $W_2$ とから、鉄損が基準値 $W_2$ 以下となる板厚範囲を求め、この範囲内の厚さに設定されていることを特徴とする発電装置における磁気回路の板厚設定方法。

20 21. 請求項17に記載の発電装置における磁気回路の板厚設定方法において、

前記最小値 $W_1$ を与える板厚 $d$ 、前記ステータまたは磁心に要求される全体厚さ $D$ として、前記板厚 $d$ が全体厚さ $D$ を超える場合には前記板厚 $D$ の単層構造とし、前記板厚 $d$ が全体厚さ $D$ より小さい場合には前記板厚 $d$ の層を含む複数の板材による全体厚さ $D$ の積層構造とすることを特徴とする発電装置における  
25 磁気回路の板厚設定方法。

22. 請求項17に記載の発電装置における磁気回路の板厚設定方法において、

前記積層構造とする際に、前記最小値 $W_1$ を与える板厚 $d$ の層を含んで全体厚さ $D$ となる複数の板材の組合せを複数通り設定し、各組合せの中に鉄損 $W$ が前記基準値 $W_2$ 以下のものがあればこれを採用し、なければ前記板厚 $d$ の層より鉄損が大きな板厚の層を含んで全体厚さ $D$ となる複数の板材の組合せを複数通り設定し、各組合せの中に鉄損 $W$ が前記基準値 $W_2$ 以下のものがあればこれを採用することを特徴とする発電装置における磁気回路の板厚設定方法。

23. 請求項21または請求項22に記載の発電装置における磁気回路の板厚設定方法において、

- 10 前記ステータおよび磁心の少なくとも一方を構成する軟磁性材料は積層構造であり、積層構造を形成する各層材料を最小厚みが0.05mm以上に設定することを特徴とする発電装置における磁気回路の板厚設定方法。

## 要 約 書

- 発電装置 20 がロータ 21 と、ステータ（磁心）22 と、コイル 23 とを備える場合に、ステータ 22 の板厚設定にヒステリシス損係数  $k_h$ 、渦損係数  $k_e$ 、抵抗率  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ )、周波数  $f$  (Hz)、最大振幅磁束密度  $B_m$  (T) からなる式(1)を適用する。ステータ 22 の板厚  $d$  (m) を式(1)で与えられる最小鉄損の板厚  $d$  に設定することで、発電装置の磁気回路の鉄損を低減し、発電装置の高効率化を図る。